

浅谈应急通信自组织网络技术

梅林¹, 谢薇¹, 钟雪霞^{1,2}, 王建^{1,3}

(1. 公安部第三研究所物联网技术研发中心, 上海, 201204; 2. 上海大学通信与信息工程学院, 上海, 200444;
3. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海, 200240)

摘要: 日益频发的突发自然灾害和逐年趋紧的安全局势, 促使世界各国都在加强突发事件应急体系建设及相关技术研究。作为应急处置系统的关键支撑, 应急自组织通信技术及网络系统成为世界性的热门研发领域, 得到各国政府、工业及学术界的广泛关注。本文简析了无线自组网的特点和架构, 简介了较为成熟的三种自组网系统, 对无线空中接口协议标准、自组网 MAC 协议和路由技术进行了全面回顾。最后, 对 MAC 协议与路由协议的研究趋势进行展望。

关键词: 自组织网络; MAC 协议; Mesh 网络; 应急通信; 无线路由协议; Ad Hoc; MANET;

中图分类号: TP393; **文献标识码:** A

0 引言

近年来, 世界范围内频现各类突发灾害 (如 2004 年的印度洋海啸、2008 年中国汶川大地震、2011 年日本海啸及 2013 年中国雅安大地震等) 与恐怖袭击事件 (如 2001 年美国 911 事件、2011 年莫斯科机场爆炸案、2013 年波士顿马拉松爆炸案等), 不仅造成了巨大的财产损失和人员伤亡, 而且引发了社会民众的心理恐慌。各国纷纷建立灾害应急响应机制并加速完善突发事件的灾害预警与处置措施。^[1]

突发事件紧急救援体系的建立需要依托紧急救援指挥平台系统, 危险源监测、物资调配、人员布局、统计分析等各方面的综合性协调管理均以现代化信息技术与通信手段为支撑得以实现。由于灾害发生的突发性和破坏性, 通常现有的通信设施无法稳定工作, 因此对可提供快速部署、稳定传输及广泛覆盖的移动通信需求尤为迫切。针对此重大需求, 基于不需要基础设施支持的移动 Ad Hoc 解决方案, 通过自动配置使移动装置相互连接可建立灵活稳定通讯的移动 Ad Hoc 网络 (Mobile Ad Hoc Network, MANET) 应运而生。

1 自组织通信网络系统

MANET 是具有自组织、自愈性的复杂分布式通信系统, 各无线移动节点可自由动态地自组织成任意临时性的网络拓扑, 在无基础通信设施的场合快速建立起无线通信网络^[2]。无线自组织网络系统具有承载容量大、传输带宽高、容错能力强、组网部署灵活简易等特点, 使其使其在应急通信场合中得到广泛应用。

1.1 无线自组织网络架构

根据拓扑结构差异, 无线自组织网络通常分为对等网络和分层网络两大类。

对等网络是指分布在空间中的各个节点组成的通信网络, 组网灵活、自愈性强。各节点地位均等, 由主机和路由器构成, 架构原理如图 1 所示。分层网络将节点分为多级结构 (很多簇), 每个簇由 1 个簇头和多个簇成员组成, 簇成员之间通过簇首进行通信, 簇间通信通过网关转发, 其网络架构如图 2 所示。在分层网络中当通信终端类别的不同时, 需使用多个频段展开通信, 架构如图 3 所示。

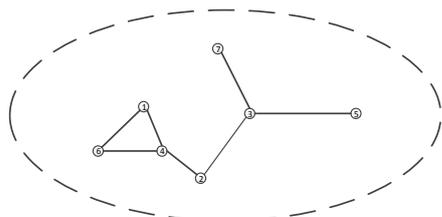


图 1 对等网络架构图

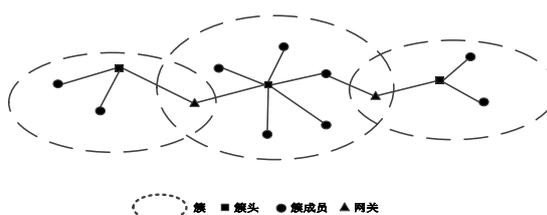


图 2 分层网络架构图

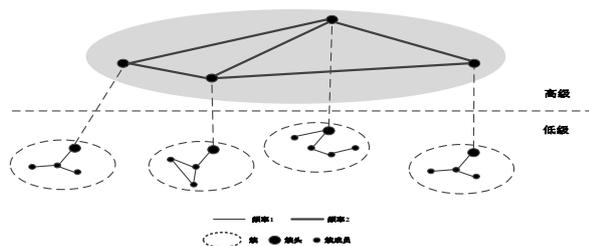


图3 多频网络的架构图

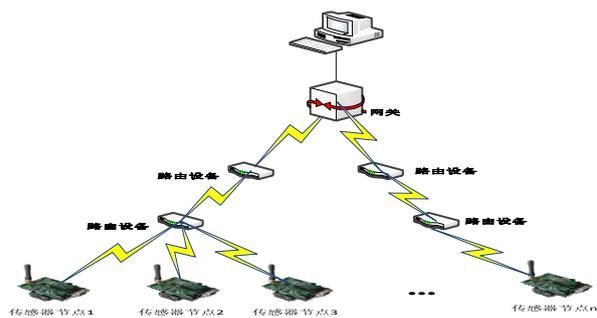


图4 传感器网络架构图

1.2 无线自组织网络应用系统

目前，基于自组织网络衍生出三种应用于不同领域的模型，包括：传感器网络、Mesh 网络和车载网络三种形式。

1.3 无线传感器网络

无线传感器网络是由许多分布在空间中的节点构成的网络^[3]，节点由传感器、路由以及电源组成，网络架构如图 4 所示。由于节点具有感知各种物理参量的特性，传感器网络广泛应用在环境与生态监测、健康监护、家庭自动化、以及交通控制等诸多领域。

1.4 无线 Mesh 网络

无线 Mesh 网络（Wireless Mesh Network, WMN）又称无线网状网，是一种新型的宽带无线网络结构^[4]，架构如图 5 所示。WMN 网络中的节点自动建立并维护相互之间的网格连接。其高容量、高速率、动态自组织、自配置等特性，使得 WMN 网络部署具有前期投入成本低、维护方便、健壮性好和服务覆盖范围增大等优势，可支持 Internet 接入、分布式存储、多无线网信息交换等大量应用。

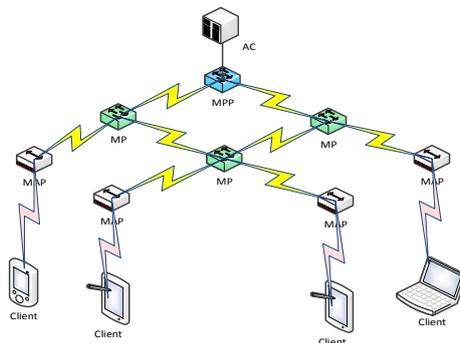


图5 无线 Mesh 网络架构图

1.5 车载自组织网络

车载网络是以配备无线接口设备的车辆为节点的移动自组织网络^[5]，其显著特征是网络拓扑变化频繁。车载网络的移动特性使得其具有良好的发展前景，可应用于安全告警、协同驾驶、分布式交通信息发布、移动信息服务等诸多移动性网络场合。

2 无线通信网络空中接口协议

宽带无线接入在应急通信场合中，以其经济便捷、运维简单、容量高、覆盖面广、可快速提供业务等突出优点得到广泛采用。无线通信网络的空中接口协议中，尤以基于 IEEE 802.11 系列标准的 WLAN 与基于 IEEE 802.16 系列标准的 WMAN 这两类最为常用。

802.11 标准

IEEE 802.11 系列标准主要用于构建宽带 WLAN，以无线多址信道作为传输媒介，使用电磁频谱来传递信息，正逐渐发展成为“公共无线局域网”，为校园、家庭、酒店及各大企事业单位提供高速的无线接入能力^[6]。

1990 年, IEEE 802 标准化委员会成立了 IEEE 802.11 WLAN 标准工作组。经过十几年的发展, IEEE 802.11 逐渐形成了一个家族, 依靠修订案来进行更新。已经发布的标准和修正案的层次模型如图 6 所示^[7]。

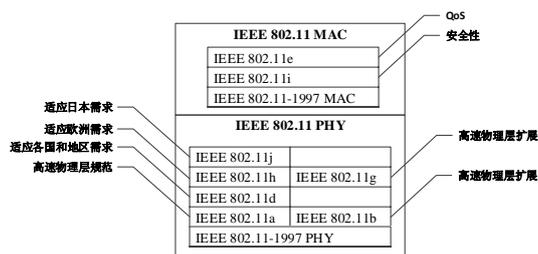


图 6 已发布的 IEEE 802.11 标准和修正案层次模型

IEEE 802.11s 是 IEEE 802.11 专为无线 Mesh 网络制定的附加草案, 定义了无线设备组建无线局域网 Mesh 网络的方式。IEEE 802.11s 通过定义新的结构和协议扩展了 IEEE 802.11 标准的 MAC 层, 以实现自组织、自愈合的多跳网络以同时支持广播、单播传输。IEEE 802.11s 的主要特性包括混合无线网状网协议 (Hybrid Wireless Mesh Protocol, HWMP)、6 地址结构、拥塞控制和无线网状网协调信道接入等。^[8]

802.16 标准

1999 年, IEEE 802 委员会成立了 802.16 工作组专门负责为宽带无线接入的无线接口及其相关功能制定标准^[9, 10]。2011 年 IEEE 批准 802.16m 成为下一代 WiMax 标准。802.16m 标准支持超过 300Mbps 的下行速率。当前的最新修订版本是 2009 年发布的 IEEE 802.16-2009^[11], 对管理信息库规范进行增强和维护。IEEE 802.16 标准又称为 IEEE Wireless MAN 空中接口标准, 对工作于不同频带的无线接入系统空中接口进行了规范。由于它所规定的无线系统覆盖范围在公里 (km) 量级, 因此 802.16 系统主要应用于城域网^[12]。根据是否支持移动性可分固定无线接入空中接口和移动宽带无线空中接口。其中, 802.16、802.16a、802.16d 属于固定标准, 而 802.16e、802.16m 属于移动标准^[13]。根据使用频带高低的不同, 802.16 系统的应用可分为视距和非视距两种, 其中使用 2~11GHz 频带的系统可以应用于非视距 (NLOS) 范围^[14], 而使用 10~66GHz 频带的系统应用于视距 (LOS) 范围^[15]。

802.16 标准中包括 2 种网络结构: 点对多点和网状网 (Mesh)。在点对多点网中, 一个基站和多个用户站组成类似蜂窝网的网络; 在 Mesh 中, 所有节点以自组织方式构成, 彼此对等, 每个节点都像路由器一样转发数据给邻居节点, 更加适合建立多跳通信的应急自组织网络系统。目前, 通用的 2 种无线 Mesh 网络分别基于 IEEE802.11 技术和 IEEE802.16 技术, 前者已有示范网络和许多研究成果, 而後者的研究还处于初步阶段^[16]。

3 自组织网络 MAC 协议

自组织网络以其高度灵活性和抗毁性一直备受军方和学术界的关注, 媒体接入控制 (Media Access Control, MAC) 协议是移动自组织网络中的关键技术之一, 对整个移动自组织网络的性能有着非常重要的影响。

3.1 无线 Mesh 网络 MAC 协议

无线 Mesh 网络的 MAC 协议主要分为单信道 MAC 协议和多信道 MAC 协议两类。

传统的基于竞争的 MAC 协议都是基于单信道网络设计的^[17]。任何节点都可以通过无线信道这一传输媒介传输自身相关信息或者转发其它信息。但在传统的单一信道模型下, 如果节点正在发送分组数据信息, 其它节点则必须停止发送分组数据, 以及在一定距离范围内也不能使用相同信道进行接收分组数据。典型的单信道 MAC 协议有 ALOHA、CSMA、MACA、MACAW、FAMA、IEEE802.11 等^[18]。

在多信道 MAC 协议中, 网络设备接入点配置多个网卡具备多对双工收发器, 可以同时用不同的频段进行通信^[19]。网络中的节点相应地具有多个接口, 每个接口可以使用一个备选信道, 支持节点在同一时刻使用多个信道与周围节点进行数据传输。如果使用的信道是正交信道即无干扰信道, 则可以实现增大网络容量, 同时最大化降低干扰。现有典型的多信道 MAC 协议有 DCA、PCAM 和 MUP 等。

3.2 传感器网络中的 MAC 协议

3.2.1 基于竞争的 MAC 协议

基于竞争的 MAC 协议基本思想是当节点需要发送数据时，竞争访问信道。若竞争成功则开始发送数据，若产生了数据碰撞，就按照一定的重发策略开始数据重发流程。应用于无线局域网的 IEEE802.11MAC 协议是基于竞争的 MAC 协议的代表。基于此 MAC 协议，提出了多个应用于无线传感器网络的基于竞争的 MAC 协议^[20]。

3.2.2 基于 TDMA 机制的 MAC 协议

基于 TDMA 机制的 MAC 协议为传感器网络中的每个节点分配独立于其他节点的时隙，在属于自己的时隙内进行数据的发送和接收，在其余的空闲时隙则睡眠进行节能^[21]。其优势在于减少因碰撞产生的能耗，缺点是要求严格的时间同步。基于 TDMA 的 MAC 协议要求能够根据节点的需求进行时隙分配调度，这就要求有完善的调度算法。一旦帧长度和时隙分配算法确定就很难调整，对于网络拓扑的适应性较差，导致基于 TDMA 的 MAC 协议的扩展性不佳。

3.2.3 基于分簇网络的 MAC 协议

在分簇网络中，传感器节点自组织成簇。基于分簇的 MAC 协议中，节点有 4 种状态：感知、转发、感知并转发以及休眠。节点在感知状态感知数据，并将数据发送出去；转发状态时，节点接收其他节点发送的数据并将接收的数据转发出去；感知并转发状态时，节点既要感知和发送数据，又要接收转发其他节点发送的数据；在休眠状态节点可大幅节约能耗。

3.3 车载网络中 MAC 层协议

无线环境下，车载 MAC 层的接入方式主要分为基于竞争的共享介质方式和基于调度的独享介质方式两大类^[22]。载波侦听多路访问/冲突避免（Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance, CSMA/CA）协议是最为常用的基于竞争的 MAC 层接入方式，比较适用于分布式的网络。基于调度的独享介质方式需要有中心控制节点参与信道的分配，如 FDMA、TDMA、CDMA 等方式。在车载网络中，单纯的基于竞争或者基于调度的 MAC 协议，或者只是简单地把两种方式进行复合使用，均不能获得良好的效果。

4 应急自组织网络路由技术

由于传统路由协议无法满足无线自组网的动态拓扑、多跳、自组织、分布式控制等的应用需求^[23]，因此路由协议设计一直是自组织网络的研究重点。

4.1 无线自组网路由协议的分类

从不同角度对无线自组网路由协议进行类别划分，协议架构体系如图 7 所示。在无线自组网路由协议分类体系中，根据是否使用 GPS 提供定位信息，分为地理位置辅助的路由和非地理位置辅助的路由；根据网络采用的逻辑拓扑不同，分为平面型路由和分层型路由；根据路由建立的方式可分为先应式路由协议^[24]和按需路由协议^[25]和混合路由。其他分类方法诸如，根据每次为单个源-目的节点对创建的路由数量，可分为单路径型和多路径型路由协议^[26]。

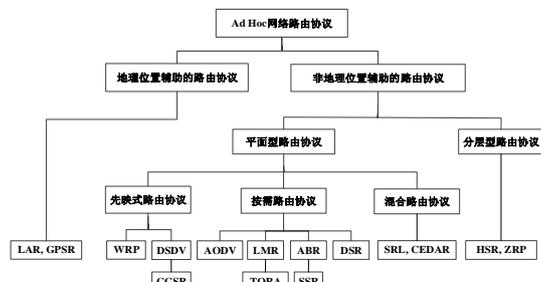


图 7 Ad Hoc 路由协议分类

4.2 先应式路由协议

先应式路由协议又称表驱动路由，需要每个节点维护一个或多个路由表来储存路由信息。每个节点定期向

网络广播拓扑信息,来维护一致的拓扑网络视图^[26]。由于路由信息的不断更新,该类协议的优点是时延很小,更适合实时通信和有 QoS^[27]要求的网络通信。然而,其缺点在于频繁交换路由信息导致路由开销增大,剧烈变化的拓扑结构会使路由协议不易收敛。根据采用不同数量和内容的路由表以及不同的广播策略,可形成不同的路由协议,典型协议如 WRP(Wireless Routing Protocol)^[28]、DSDV(Destination Sequenced Distance Vector Routing)^[29]等。

4.3 按需路由协议

按需路由协议又称反应式路由协议,与先应式路由协议相反,仅在需要时才由源节点创建路由,因此拓扑结构信息和路由表的内容都是按需建立的。其特点是花费小、时延较大。根据路由发现的过程、取得和维护信息的方法、传输数据的方式不同,形成不同的路由协议。典型的路由协议有 DSR(Dynamic Source Routing)^[30]、AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing)^[31]等。

4.4 混合路由协议

混合路由协议是结合两种路由协议的优点,实现两者的优势互补。在混合路由协议中,可在局部区域范围内或者是拓扑变化频繁的区域使用先应式路由协议,在其他范围内使用按需路由协议。ZRP(Zone Routing Protocol)^[32]、SRL(Supernode-based Reverse Labeling)^[2]、CED(Core-Extraction Distributed AdHoc Routing)等都属于混合路由协议。

经典的无线自组路由协议

WRP、DSDV、AODV、DSR、ZRP 等经典路由协议经过多年的发展日趋成熟,已经获得普遍认可和广泛应用,并且由此改进提出针对不同应用场合的许多新路由协议。

4.5 DSR 路由协议

DSR 路由协议属于基于源路由的按需路由协议的一种。它的基本思想是数据分组按照事先放置在分组报头中的有效的路径信息传递分组。优点是会发生环路现象,而且中间节点可以缓存侦听或者转发的分组报头中的路由信息,供后期路由发现使用^[33]。DSR 采用的关键技术有路由缓存管理、路由自动缩短、出错链路抢修等。这些关键技术保障了其良好的性能。

4.6 AODV 路由协议

AODV^[31]路由协议是采用基于距离矢量的一种典型的按需路由协议。AODV 只在必要时请求路由,不在当前通信路由中的节点不需维护路由,但在其他通信中可能需要维护路由。它综合借鉴了 DSDV 路由协议中的序列号机制、DSR 中的按需路由机制和距离向量路由协议的各节点路由表只需维护本节点到其它节点的路由的特性。AODV 能够在网络拓扑结构变化时实现快速收敛,具有断路动态自我修复、路由计算量小、节点存储资源和网络带宽资源消耗低等优点。

4.7 LAR 路由协议

LAR(Location-Aided Routing)^[34]是一种典型的地理位置辅助的路由协议。通常用全球定位系统 GPS 获取节点的位置信息,这样 LAR 就会限制路由搜索的范围,减少路由发现过程中被影响的节点数目和各类路由控制分组的发送量,大大减小了网络开销,从而优化了协议性能。

4.8 ZRP 路由协议

ZRP 是一种典型的混合路由协议。ZRP 将网络中每个节点 n 跳范围内的节点划为一个区域,在该区域内采用先应式路由协议 IARP,路由信息的广播控制在该区域内。当目的节点不在该区域时,采用按需路由协议 IERP 启动路由发现。

5 研究趋势

随着各国应急指挥体系的不断完善,自组织网络系统向着超大规模、超广覆盖、超低功耗的方向不断发展。MAC 协议和路由技术作为自组织网的关键技术,成为研究重点。

在 MAC 协议方面,主要研究热点^[35,36]包括:①采用先进的信号处理技术,开发低计算复杂性算法,解决冲突帧问题。②将传输速率和网络状态匹配,需采用自适应编码和调制技术以获取较高的信道利用率。③区

分拥塞与信道传输错误, 通过动态链路自适应增加吞吐量和信道利用率。④考虑节点的移动模式和空间分布, 结合节点移动性、位置以及信道状况可设计支持链路自适应的 MAC 协议。

在自组网路由协议研究方面的发展趋势主要为以下方面: ①节能的路由协议成为研究热点。目前有最小化总传输能量的节能路由和最大化网络生存时间的节能路由协议^[37]。②基于安全的路由协议也引起广泛的关注。一种思路是在经典协议的基础上, 增加一些安全性增强方案(安全路由协议 SRP、异步分布式密钥管理模型、SAODV 安全路由协议等^[38]), 保障网络规模增大引起的系统安全。③基于无线 Ad Hoc 网络路由协议改进设计的无线 Mesh 网络路由协议设计^[39], 及其专用协议研发。④针对不同的应用场合的负载均衡路由、基于 QoS 的路由等协议研究。

参考文献:

- [1] 徐金虎. 论突发事件紧急救援指挥响应机制的构建[J]. 辽宁警专学报, 2010(5): 51-54.
- [2] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 Ad Hoc 网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] 王太峰, 林珂, 范乐昊. IEEE 802.15.4 标准的无线传感器网络自组网方案[J]. 信息技术, 2009(2): 30-33,35. doi: 10.3969/j.issn.1009-2552.2009.02.009.
- [4] 李洋, 董育宁, 赵海涛, 等. 认知 Mesh 网络的动态分层图路由模型及路由策略[J]. 电子与信息学报, 2009. 31(8): 1975-1979.
- [5] 张晓生, 黄陶明. 车载自组网研究[J]. 现代计算机(专业版), 2009(7): 57-59. doi: 10.3969/j.issn.1007-1423-B.2009.07.016.
- [6] 陈卓, 余重秀, 于志辉, 等. IEEE 802.11 与 802.16 系列标准的分析与比较[J]. 电信工程技术与标准化, 2005(1).
- [7] 李浩, 高泽华, 高峰, 等. IEEE 802.11 无线局域网标准研究[J]. 计算机应用研究, 2009. 26(5): 1616-1620.
- [8] 姚岩炜, 吴越, 姜维. IEEE 802.11s 网络及其性能评估[J]. 信息安全与通信保密, 2011(5): 70-73.
- [9] IEEE Computer Society. 802.16-2001 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. IEEE, 2002.
- [10] IEEE Computer Society. 802.16-2004 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. IEEE, 2004.
- [11] IEEE Computer Society. 802.16-2009 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems[S]. IEEE, 2009.
- [12] Carl Eklund, Roger B. Marks, Kenneth L. Stanwood, et al. IEEE standard 802.16: a technical overview of the WirelessMAN/sup TM/air interface for broadband wireless access[J]. IEEE Communications Magazine, 2002. 40(6): 98-107. doi: 10.1109/MCOM.2002.1007415.
- [13] 石洪妹. IEEE 802.16 的关键技术[J]. 信息技术&标准化, 2008(6): 23-28.
- [14] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. 802.16a-2003 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks --- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems--- Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz[S]. IEEE, 2003.
- [15] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. 802.16c-2002 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Amendment 1: Detailed System Profiles for 10-66 GHz[J]. 2002(IEEE): 0_1 - 78. doi: 10.1109/IEEESTD.2002.94227.
- [16] 杨天路, 刘宇宏, 张文, 等. P2P 网络技术原理与系统开发案例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [17] 李贺武, 吴建平, 马辉, 等. 基于竞争终端个数区间的 IEEE 802.11 性能优化[J]. 软件学报, 2004. 15(12): 1850-1859.
- [18] 陈晓静, 何荣希. 车载 Ad Hoc 网络 MAC 协议研究[J]. 计算机工程与设计, 2008. 29(12): 3071-3074.
- [19] IEEE. IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. New York, USA: IEEE, 2007.
- [20] 毕俊蕾, 陈竞. 无线传感器网络路由研究综述[J]. 电脑知识与技术(学术交流), 2007. 1(6): 1578-1579. doi: 10.3969/j.issn.1009-3044.2007.06.054.

- [21] 徐世武, 王平. 数据融合技术在无线传感器网络中的应用[J]. 计算机系统应用, 2012. 21(1): 132-135. doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2012.01.031.
- [22] I. Chisalita, N. Shahmehri. A novel architecture for supporting vehicular communication[C]//. Proceedings of 2002 IEEE 56th Vehicular Technology Conference: IEEE, 2002 (2): 1002-1006. doi: 10.1109/VETECE.2002.1040752.
- [23] 徐鹏, 赵新伟, 李腊元, 等. 节能移动自组网路由协议研究与仿真[J]. 计算机工程, 2009. 35(8): 140-142.
- [24] W. Choi, S. Tkinay. An efficient table driven routing algorithm for wireless Ad Hoc networks[C]//. Proceedings of IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference: IEEE, 2001: 2604-2608.
- [25] Ya Xu, John Heidemann, Deborah Estrin. Geography-informed energy conservation for Ad Hoc routing[C]//. Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking: ACM, 2001: 70-80. doi: 10.1145/381677.381685.
- [26] 安辉耀, 王新安, 李挥, 等. 移动自组网中的先进路由算法与路由协议[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [27] Nityananda Sarma, Sukumar Nandi. Route stability based QoS routing in mobile Ad Hoc networks[J]. Wireless Personal Communications, 2010. 54(1): 114-126.
- [28] Shree Murthy, J. J. Garcia-Luna-Aceves. An efficient routing protocol for wireless networks[J]. ACM Mobile Networks and Applications, 1996: 183-193.
- [29] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat. Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers[C]//. Proceedings of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, 1994: 234-244. doi: 10.1145/190314.190336.
- [30] David B. Johnson, David A. Maltz. Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks[J]. Mobile Computing - The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, 1996. 353: 153-181.
- [31] Charles E. Perkins, E. M. Royer. Ad-hoc on-demand distance vector routing[C]//. Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. New Orleans, LA, USA: IEEE, 1999: 90-100.
- [32] 盘莉莉. Ad Hoc 网络 ZRP 路由协议的性能仿真[J]. 计算机工程与设计, 2009. 30(12): 2948-2950.
- [33] 沈大伟. 移动 Ad Hoc 动态源路由协议的研究和改进[D]. 硕士论文. 南京: 南京邮电大学. 2009.
- [34] M. Mauve, A. Widmer, H. Hartenstein. A survey on position based routing in mobile Ad Hoc networks[J]. IEEE Networks, 2001. 15(6): 30-39 doi: 10.1109/65.967595.
- [35] 袁正午. 移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [36] Eun-Sun Jung, Nitin H. Vaidya. A power control MAC protocol for ad hoc networks[C]//. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking: ACM, 2002: 36-47. doi: 10.1145/570645.570651.
- [37] 周峙. Ad Hoc 网络节能路由协议[D]. 硕士论文. 西安: 西安电子科技大学. 2012.
- [38] Li Wang, Jiu Hui Zhang. Security strategy of MANET based on identity-based cryptosystems[C]//. Proceedings of 2010 International Conference on Internet Technology and Applications. Wuhan, Hubei, P. R. China, 2010: 1-3. doi: 10.1109/ITAPP.2010.5566346.
- [39] M.Khabazian, S. Aissa. A load-distributive QoS routing protocol for multi-service wireless mesh networks[C]//. Proceedings of 2010 IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. Niagara Falls, Ontario, Canada: IEEE, 2010: 233-238. doi: 10.1109/WIMOB.2010.5644995.